

簡易測定法拉第常數及氧化數之方法及自製教具之研究

國中組化學第一名

高雄縣文山國民中學

作者：鄭全恒、歐陽群恩
指導老師：王隆信、謝健南

一、動 機：

(一)我們的化學課本第三冊第十四章第一節實驗 14—1 中，要我們“用定量的方法來電解時，所生成物質的重量與電量間的關係”進而求得法拉第常數及離子的氧化數。實驗過程必須經過 1 配製電解液（ $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ 及 AgNO_3 ），2 試裝電路，調整電阻器使安培計指在 0.1 A 上，3 取下陰極片（Cu, Ag）。依次用稀硫酸、蒸餾水、乙醇及丙酮清洗。4 夾取洗淨之陰極片在烘箱內烘乾。5 夾取乾燥之陰極片分別“用天平精確稱重”，並紀錄之。6 掛陰極片於電解槽內，接通電路，“電解約 1 小時”其時間之調整電阻器，保持 0.1 A。7 1 小時後夾取 1 陰極片依次用蒸餾水、乙醇及丙酮洗淨，且要以不可將晶體烘失。8 再入烘箱乾燥。9 再用天平精確稱重，紀錄下來。10 依據實驗數據，計算法拉第常數及離子的液化數。

以上是課本上的指導手續，我們也曾照着做過，不過做一次前後需要兩小時。由於第一次做這樣複雜的實驗，一切都是亂糟糟的。最後計算完畢，其誤差之大，實在叫我們臉紅，自信心完全喪失了！

(二)我們的物理課本第一冊第二章第四節中，曾要我們自製微量天平。我們也按照課本做了，而且很好用。如果能把微量天平用在上述的化學實驗中，不僅可以節省時間，而且也因為是用微量天平來測量，結果一定比較準確。經過老師的同意和指導，我們就幹起來了。

二、原理依據：

(一) 依據化學第十三章第三節，瑞典化學家阿瑞尼士 (S. A. Arrhenius) 的解離說中，我們知道了離子的成份，帶電量和它的各種性質。使我們具有進行電解實驗的能力。

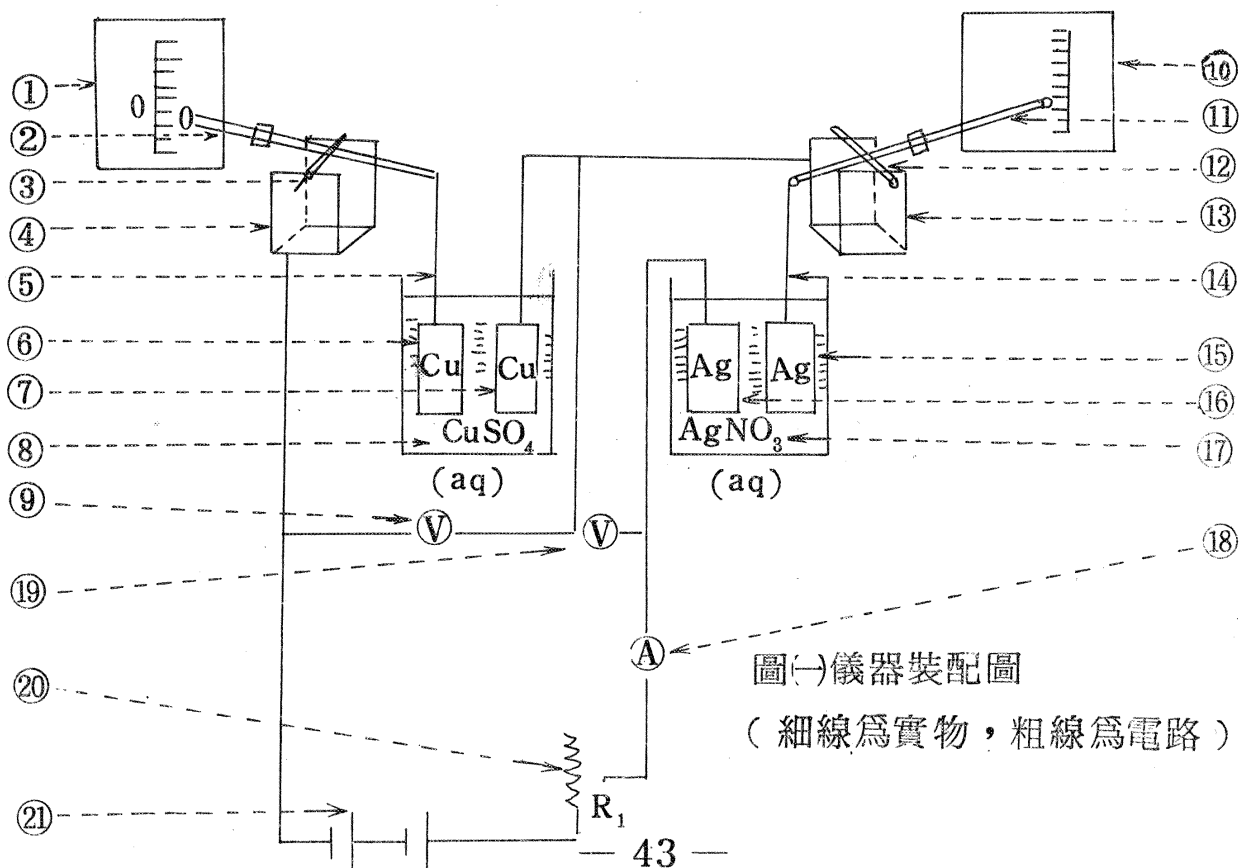
(二) 按照化學課本做實驗 14—1，由於電池的電壓是 6V 並用 0.1A 進行實驗，結果大家都得到黑色的氧化銅 (CuO) 而不是赤紅色的金屬銅。後來經過老師的解釋，才知道我們所用的電壓太高，電功率太大，使剛析出的金屬銅氧化，以致實驗失敗。

(三) 依據物理 § 2—4 及 § 4—4 的微量天平原理及實驗，配合槓桿原理，我們可以測量到 1×10^{-4} gw，足以應付化學實驗 14 ~ 1 的要求。

(四) 依據物理第七章，我們學會了浮驗原理，把它用到電鍍實驗中，可以免除稱取陰極片重量和烘乾的手續，使實驗電鍍時又快又準確。

三、儀器設計：

(一) 利用微量天平進行電鍍實驗儀器裝配圖：如圖(一)



(二)儀器說明：

1. Cu 析出量：當 6. 上有 Cu 析出時 2. 會上昇。用方眼紙作砝碼，可求出 Cu 的析出量。
2. 不等臂天平桿：用鋁條製造，上附騎碼（物 § 2 ~ 2 ），以便歸零。實驗前先水平歸零，加上砝碼後，指尖下傾，實驗後又在水平零點，所以可以在平衡下利用槓桿原理。
3. 轉軸：刀型鋁棒製成，可於 4. 上自由轉動。即槓桿的支點。
4. U 型支架：
5. 銅線吊具：用銅線製成，每長 0.5 cm，做刻紋一條，以便測定沉入電解液中之長度。亦可使用 2. 的載物台所轉動的圓弧求之。
6. 陰極銅片：遵照課本規格 $5 \times 3 \text{ cm}^2$ 。
7. 陽極銅片：同 6.。
8. 硫酸銅電解液：遵照課本配製 0.05 M。
9. 伏特計：與電路成並聯，用以測量兩銅極間的分解電壓。
10. Ag 析出量：同 1.。
11. 天平桿：同 2.。
12. 轉 軸：同 3.。
13. 支 架：同 4.。
14. 銀絲吊具：同 5.。
15. 陰極銀片：同 6.。
16. 陽極銀片：同 7.。
17. 硝酸銀電解液：同 8.，0.05 M。
18. 安培計：因為是串聯電路，所以用一只就夠了。
19. 伏特計：與電路成並聯，用以測量兩銀極間的分解電壓。
20. 滑動型可變電阻：0 ~ 75 Ω ，以調整電流為主。
21. 電 源：3 V ~ 6 V D. C。

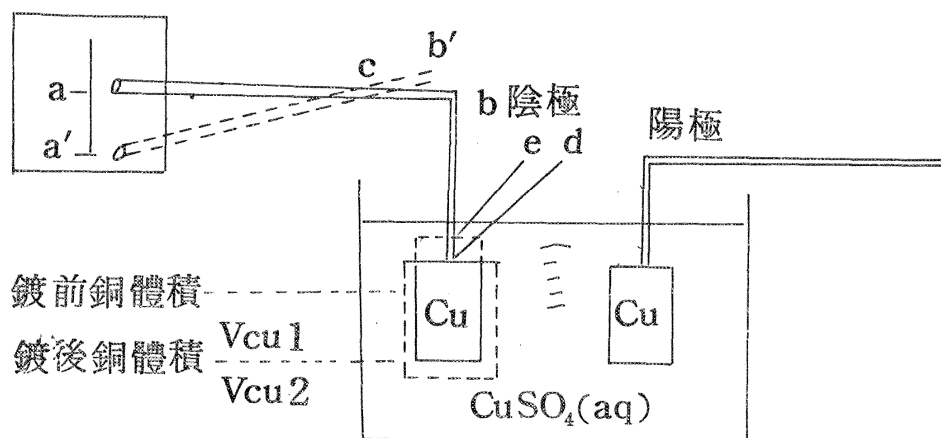
(三)使用方法說明：

1. 按動機(→) 1 至 5. 步驟，決定約 0.1 A 的總電流及預定之分電壓後，夾取清潔之陰極片，即可掛在各吊具上。此時 Cu, Ag

片各重 $W_{Cu}(gw)$ 及 $W_{Ag}(g)$ 。

2. 調整各天平桿上的騎碼，使各桿歸零。
3. 記錄各吊具線上的刻紋。
4. 剪取已知重量的方格紙，放在各天平桿的尖端，片數可依時間長短以定之。如圖(□)所示。〔方格子紙重量的計算法：取方格子紙 10 張（每張有小方格 2400 格）放在精確天平上稱得之重量為 W_c ，則每一小方格的重量 $W_l = \frac{W_o(g)}{10 \times 2400}$ 。〕

此時天平桿指尖，將從 a 降至 a' 。



圖(□)以鍍銅部份為例，說明電鍍過程

5. 按圖(□)接通電路，開始電解：
 - (1) 調整 R_1 ，可改變電壓及電流。
 - (2) 記取開始時間。電壓及電流。
6. 當銅邊之天平指尖指到零時，立即停止電解，記取停止時間
7. 若需重做時，可將所增加的銅銀重量各加入原重量，作為未鍍前的重量；把天平再歸零後即可，不必再稱重量。再以銀邊為中心重做，以便與前面的銅鍍實驗比較，進而求取平均值，使實驗更為準確。

(四) 計算方法：

1. 析出金屬量的計算方法：（以銅邊為例）

設：每一小方格紙的重量 $W_l(g)$ 。

電鍍前的銅重 $W_{cu1}(g)$ 體積 $V_{cu1}(cm^3)$ 銀重 $W_{Ag1}(g)$
 $V_{Ag1}(cm^3)$ 。

電鍍後的銅重 $W_{cu2}(g)$ ，體積 $V_{cu2}(cm^3)$ 銀重 $W_{Ag2}(g)$
 $V_{Ag2}(cm^3)$ 。

電鍍析出金屬量：銅析出量： $W_{cu}(g) = W_{cu2}(g) - W_{cu1}(g)$ 。

銅體積增加量： $V_{cu}(cm^3) = V_{cu2}(cm^3) - V_{cu1}(cm^3)$ 。

銀析出量： $W_{Ag}(g) = W_{Ag2}(g) - W_{Ag1}(g)$ 。

銀體積增加量： $V_{Ag}(cm^3) = V_{Ag2}(cm^3) - V_{Ag1}(cm^3)$ 。

銅的密度 $D_{cu} = 8.9g/cm^3$ (物 § 2~3)。比電阻 $20^\circ C$ ，
 $0.0157mm^2/m$ 。(電工手冊)

電解液密度： D_{cus} ， D_{Ags} ，在理論上進行低溫，低電壓，
低電流短時間電鍍時，電解液的濃度變化極小，可忽略。

(以下銀邊從略)

電鍍前銅陰極的浮力 $F_{cu1}(g) = D_{cus} \times V_{cu1}$

電鍍後銅陰極的浮力 $F_{cu2}(g) = D_{cus} \times V_{cu2}$

析出銅部份的浮力 $F_{cu}(g) = F_{cu2} - F_{cu1}$

$$= D_{cus} (V_{cu2} - V_{cu1})$$

$$= D_{cus} \left(\frac{W_{cu2}}{D_{cu}} - \frac{W_{cu1}}{D_{cu}} \right)$$

$$= \frac{D_{cus}}{D_{cu}} \times W_{cu}$$

銅線吊具的浮力 $H_{cu}(g) = D_{cus} \times ed \times \left(\frac{r}{2} cm \right)^2 \times \pi$

(r 銅線直徑)

電鍍後 b 點的增加重量 $U_b(g) = W_{cu}(g) - F_{cu}(g) - H_{cu}(g)$

$$\begin{aligned}
 \text{依據槓桿原理：} & n \times W_1 \times ac = Ub \times bc \\
 & = (W_{cu} - F_{cu} - H_{cu}) \times bc \\
 & = (W_{cu} - \frac{D_{cus}}{D_{cu}} \times W_{cu} - H_{cu}) \\
 & \quad \times bc \circ
 \end{aligned}$$

註 n：小方格紙數

$$\therefore W_{cu} = \frac{(n \times W_1 \times ac + H_{cu} \times bc) \times D_{cu}}{bc \times (D_{cu} - D_{cus})} \text{ (g)}$$

上式中： $D_{cu} = 8.9 \text{ g/cm}^3$ ， D_{cus} 可以比重計測定， ac, bc, ed ，吊具半徑等，可以用尺測量。所以我們可以得到又快又準確的銅析出量了。

2. 求法拉第常數及氧化數：可遵照化學課本的指導計算，在此恕不贅述。

四、進行實驗：

(一) 實驗 I：

1. 實驗目的：如何可以在電鍍中得到高純度的金屬銅，而減少氧化銅。
2. 實驗器材：交直流交換機（3~6V），銅片、銀片（不論大小，適用即可），安培計（最大 0.5AD. C），伏特計（最大 10V, D.C），燒杯（500ml）二個，化學天平一具（感度 10mg），硫酸銅溶液（0.05M），硝酸銀溶液（0.05M），稀硫酸，其他：略。
3. 實驗設計：
 - (1) 控制的變因：
 - a 化學的部份：電解液之濃度，溫度（室溫）。
 - b 電學部份：安培 0.1A，通電時間一小時。
 - (2) 改變的變因：改變電壓分別等於 6V，3V，1V，0.5V，0.1V，以測定析出之銅量、銀量。

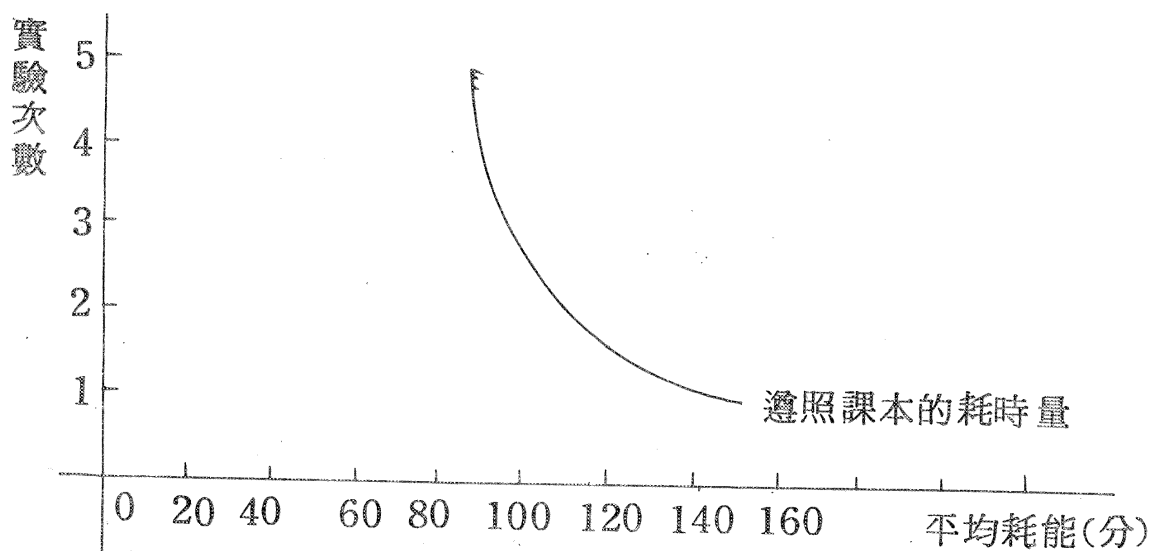
4. 實驗手續：

- (1)按照儀器設計裝配完成。
- (2)遵照化學課本，實驗 § 14~1 的手續進行實驗。
- (3)每實驗一種電壓後，將二陰極片再掛上去，進行一次電壓的實驗。共做 9 組，每組做 5 次。

5. 實驗結果：如表(一)

6. 實驗討論：

- (1)對銅而言：電壓愈小，析出的純銅量愈多，且電阻愈小。但並不規則，其主要原因是CuO的產生量與電功率有關，亦即與電解時，離子碰撞的溫度有關。此溫度究竟是多少？我們不作詳細實驗。不過從曲線上可以看出，用0.1 V電解時，CuO的生成量已極少，可以認定所析出的是很純的金屬銅；因為已很接近課本上的數值了。
- (2)對銀而言：電壓的變化對銀的析出量及電阻，都沒有太大的影響，可能是6V 0.1 A還不能促使 Ag^+ 達到與其他物質化合的有效碰撞能量之故。
- (3)對實驗時間而言，各組實驗所耗時間如表(二)，及圖(四)：



圖(四)實驗時間分配曲線

表(一)：不同電壓測析出金屬量。

電壓 測定 結果 組別	6V		3V		1V		0.5V		0.1V	
	黑 銅量 (g) 電阻π	銀量 (g) 電阻π	黑 Cu (g) γaπ	Ag (g) Agπ	黑 Cu (g) Cuπ	Ag (g) Agπ	黑 Cu (g) Cuπ	Ag (g) π	黑 Cu (g) Cuπ	Ag (g) Agπ
第一組 (男)	0.08 5π	0.40 0.1π	0.08 5π	0.40 0.1π	0.10 0.1π	0.40 0.1π	0.12 <0.1π	0.41 <0.1π	0.12 <0.1π	0.41 <0.1
第二組 (男)	0.08 5π	0.40 0.1π	0.07 6π	0.40 0.1π	0.12 0.1π	0.40 0.1π	0.12 <0.1π	0.41 <0.1π	0.12 <0.1π	0.9 <0.1
第三組 (男)	0.08 5π	0.40 0.1π	0.08 5π	0.40 0.1π	0.12 0.1π	0.41 <0.1π	0.11 <0.1π	0.41 <0.1π	0.12 <0.1π	0.40 <0.1π
第四組 (男)	0.08 5π	0.40 0.1π	0.09 4π	0.41 0.1π	0.10 0.1π	0.41 <0.1π	0.12 <0.1π	0.41 <0.1π	0.12 <0.1π	0.40 <0.5π
第五組 (男)	0.08 5π	0.40 0.1π	0.09 4π	0.41 0.1π	0.10 0.1π	0.41 <0.1π	0.10 <0.1π	0.41 <0.1π	0.12 <0.1π	0.41 <0.1π
第六組 (女)	0.07 8π	0.40 0.1π	0.08 5π	0.40 0.1π	0.12 0.1π	0.40 0.1π	0.10 <0.1π	0.40 <0.1π	0.13 <0.1π	0.41 <0.1π
第七組 (女)	0.77 8π	0.41 0.1π	0.08 5π	0.40 <0.1π	0.12 0.1π	0.40 0.1π	0.12 <0.1π	0.40 <0.1π	0.13 <0.1π	0.41 <0.1π
第八組 (女)	0.08 5π	0.41 0.1π	0.09 0.1π	0.41 <0.1π	0.12 0.1π	0.41 0.1π	0.12 <0.1π	0.40 <0.1π	0.12 <0.1π	0.41 <0.1π
第九組 (女)	0.08 5π	0.41 0.1π	0.09 0.1π	0.41 <0.1π	0.12 0.1π	0.41 0.1π	0.12 <0.1π	0.41 <0.1π	0.12 <0.1π	0.41 <0.1π
平均值	0.078 5.67π	0.4 0.1π	0.083 4.89π	0.4 0.1π	0.11 0.1π	0.41 0.1π	0.12 <0.1π	0.41 <0.1π	0.12 <0.1π	0.41 <0.1π
樣 品										

表(二)：按照化學課本，各組實驗時間統計表

耗時(分) 組別	第一次 (6V)	第二次 (3V)	第三次 (1V)	第四次 (0.5V)	第五次 (0.1V)
第一組 (男)	135 分	95	85	85	90
第二組 (男)	130	90	85	85	85
第三組 (男)	135	100	90	85	90
第四組 (男)	130	100	95	90	90
第五組 (男)	125	105	90	90	85
第六組 (女)	140	120	100	95	95
第七組 (女)	145	120	100	90	90
第八組 (女)	135	95	95	95	90
第九組 (女)	145	110	110	95	95
平均	135.56	103.89	94.44	90.0	90.0

根據以上統計，當我們做到第三次實驗以後，實驗時間已無法縮短，（同時也不必要再作操作練習）所以是一個很費時的實驗，值得改進。

(二)實驗 II：

1. 實驗目的：快速而準確求法 第常數及氧化數。

2. 實驗器材：

- (1)按圖(一)配組。
- (2)普通天平一具、尺一支，比重計(>1)一支，停錶一只。

3. 實驗設計：

- (1)控制的變因：
 - (a)化學部份：電解液的濃度、溫度，析出金屬重量。
 - (b)電學部份：0.1A、0.1V。
- (2)改變的變因：分別測定析出金屬量的時間。
- (3)由於儀器只做了一套，不能分組，只就本組儀器重覆做五次。

4. 實驗手續：

- (1)按圖(一)配組完成。
- (2)將銅、銀陰極片分別清洗後，不必乾燥，亦不必稱取重量，直接掛在各吊具下。使微量天平歸零。
- (3)按照三、(二)、4、手續製作四片小方格紙，並放於各微量天平的a點。
- (4)通電進行電鍍，並記時。
- (5)銀邊必先到零點，記取時間後繼續電鍍。當銅邊亦指到零點時，停止電鍍，並記取銅邊的時間。
- (6)取下小方格紙，使微量天平再歸零後，把四小方格紙交換放在各微量天平的a點，再以(4)、(5)手續做一次。
- (7)分別量取，ac、bc、ed的長度。
- (8)量取各電解液之比重。
- (9)重覆五次，分別記錄結果。

5. 實驗結果：

- (1)表(三) Cu、Ag 各邊析出四個小方格紙所需時間。

時間 項目 tsec 次數	未 交 換		交 換 後		平 均 值	
	T _{cu}	T _{Ag}	T _{cu}	T _{Ag}	T _{cu}	T _{Ag}
第 一 次	621	190	617	199	619	194.5
第 二 次	631	179	606	186	618.5	182.5
第 三 次	614	176	612	205	613	190.5
第 四 次	618	197	604	208	611	202.5
第 五 次	627	206	619	177	623	191.5
平 均 值	622.2	189.6	611.6	195	616.9	192.3

註：1 小方格紙重 = 4.2×10^{-4} gw, $ac = 35$ cm,

$$bc = 3.5 \text{ cm}, \quad ed = \frac{Cu = 0.014 \text{ cm}}{Ag = 0.02 \text{ cm}}, \quad D_{cus} = 1.12$$

$$D_{Ags} = 1.12, \quad D_{cu} = 8.9 \text{ g/cm}^3, \quad D_{Ag} = 10.5$$

$$(2) \text{ 代 入 } W_{cu} = \frac{(n \times W_1 \times ac + H_{cu} \times bc) \times D_{cu}}{bc \times (D_{cu} - D_{cus})} \text{ (g)}$$

$$\therefore W_{cu} = \frac{(4.2 \times 10^{-4} \times 4 \times 35 + 0.0000249 \times 3.5) \times 8.9}{3.5 \times (8.9 - 1.12)}$$

$$= 0.0192469 \text{ gw}$$

$$\therefore W_{Ag} = \frac{(4.2 \times 10^{-4} \times 4 \times 35 + 0.0000281 \times 3.5) \times 10.5}{3.5 \times (10.5 - 1.12)}$$

$$= 0.0188374 \text{ gw}$$

(3) 遵照化學實驗 14~1, 分別求法拉第常數及氧化數。

(a) 求克原子數 (m)

$$M_{cu} = \frac{0.0192469}{63.5} = 0.0003031 \text{ 克原子}$$

$$M_{Ag} = \frac{0.0188374}{107.88} = 0.0001746 \text{ 克原子}$$

(b) 求電量：

$$\text{由 } Q = I, T$$

$$Q_{\text{Cu}} = 0.1 \times 616.9 = 61.69 \text{ 庫侖}$$

$$Q_{\text{Ag}} = 0.1 \times 192.3 = 19.23 \text{ 庫侖}$$

(c)求 1 克原子所需的電量

$$Q_{\text{Cu}} = \frac{61.69}{0.0003031} = 203530.188056 \text{ 庫侖}$$

$$Q_{\text{Ag}} = \frac{19.23}{0.0001746} = 110137.457044 \text{ 庫侖}$$

(d)求一莫耳離子的法拉第數 (即氧化數)

$$F_{\text{Cu}} = \frac{203530.188056}{96487.2} = 2.1094009$$

$$F_{\text{Ag}} = \frac{110137.457044}{96487.2} = 1.141472$$

6. 實驗討論：

(1)微量天平部份：微量天平傾角的現象，實際上是軸與架的摩擦力的結果，倘若摩擦力等於零，則微量天平就只有平衡或轉動，而不會靜止在某一傾角上。摩擦力與正壓力成正比，所以本實驗必須先掛上陰極片後再作歸零手續。至於放上四片小方格紙後傾斜多少已無關重要。

小方格紙的誤差必定存在，所以要交換使用，且多項實驗，才能求得更準確的數值。

(2)氣泡問題：不論電功率是多麼小，仍然會有熱量及對水的電解現象發生，所以氣泡是有的。微小的氣泡量與導電表面積成正比，所以銅銀兩者因為表面積也接近，所以氣泡量也接近，因此兩者之誤差是有的。

(3)任何刀口之接觸地方，仍然會有接觸面積，所以在由靜止到運動的時候，必定要先克服最大靜摩擦，而本實驗之重量變化很慢，所以會引起誤差。

(4)根據屢次的實驗結果，若將表三的平均值分別扣除誤差數值，(約 15~25 秒)則 T_{Cu} 的平均值 = $616.9 - 16 = 600.9$ 秒， $T_{\text{Ag}} = 192.3 - 22 = 170.3$ 秒，若將此數值

代入公式計算，則

$$W_{Cu} = \frac{(4.2 \times 10^{-4} \times 4 \times 35 + 0.0000249 \times 3.5) \times 8.9}{3.5 \times (8.9 - 1.12)}$$

$$= 0.0192469 \text{ g}$$

$$W_{Ag} = \frac{4.2 \times 10^{-4} \times 4 \times 35 + 0.0000281 \times 3.5}{3.5 \times (10.5 - 1.12)} \times 10.5$$

$$= 0.0188374 \text{ g}$$

遵照化學實驗 14~1，分別求法拉第常數及氧化數

(a) 求克原子數 (m)

$$M_{Cu} = \frac{0.0192469}{63.5} = 0.0003031 \text{ 克原子}$$

$$M_{Ag} = \frac{0.0188374}{107.88} = 0.0001746 \text{ 克原子}$$

(b) 求電量

$$Q_{Cu} = 0.1 \times 600.9 = 60.09 \text{ 庫侖}$$

$$Q_{Ag} = 0.1 \times 170.3 = 17.03 \text{ 庫侖}$$

(c) 求 1 克原子所需的電量

$$Q_{Cu} = \frac{60.09}{0.0003031} = 198251.402177 \text{ 庫侖}$$

$$Q_{Ag} = \frac{17.03}{0.0001746} = 97537.227949 \text{ 庫侖}$$

(d) 求誤差百分比

$$D_{Cu} = \frac{198251.402177 - 96487.2 \times 2}{96487.2 \times 2} \times 100\%$$

$$= \frac{5277.002177}{192974.4} \times 100\% = 2.7345\%$$

$$D_{Ag} = \frac{97537.227949 - 96487.2}{96487.2} \times 100\%$$

$$= \frac{1050.027949}{96487.2} \times 100\% = 1.088256\%$$

(e)求 1 莫耳離子的法拉第數 (氧化數)

$$F_{Cu} = \frac{198251.402177}{96497.2} = 2.054691$$

$$F_{Ag} = \frac{97537.227949}{96487.2} = 1.010882$$

(5)時間問題：根據表(三)，除了準備時間外，做一次的時間最多只有 10 分鐘，且在準備時間中可以省略二次烘乾時間，二次稱陰極片重量時間，在電鍍時間中，又不必 1 小時，所以可以省下很多時間。

五、結 論：

(一)本作品是對現行國中化學課本第三冊第十四章的銅銀電鍍實驗加以改進，而創作把物理課本中所學的微量天平直接用到電鍍時的定量工作中，以簡化實驗過程，精密實驗結果。

(二)在製作時，當然有很多困難，其中最大的困難如下：

1 電源方面：因為我們的電源是來自交直流整流器，所得到的直流成份中往往仍有 60HZ 的波動存在，於是在進行電解時，常有部份擬鍍金屬同流的現象，影響結果甚大，後經老師指導，依照國中電子工課本的方法改裝，才能得到較準確的結果。

2 機械方面：微量天平載物台所指的刻劃不易確定，自改爲用方格紙作刻劃後才解決了。

3 化學方面：按照課本的電壓 6 V，電鍍結果，所附着之金屬很粗，無金屬光澤。後經很多次的實驗，把電壓改爲 0.1 V，電流仍保持 0.1 A，才能得到滿意的結果。

(三)本作品在構想時，老師指導我們一部份的問題；例如：如何才能把附着金屬的體積也計算進去？使結果更準確。如何才能得到更純的直流電等。但到了製作時，就全部由我們自己動手了，因為我們已經在物理、化學、工藝課程中，得到足夠解決問題的能力了。

(四)快速準確是科學的要求：本研究使法拉第常數和離子氧化數的求法，又快又準，且手續簡便，易做易學，符合科學教育的要求，亦達到了科學發展的目的。倘若更進一步仔細求證，不難求出真正的法拉第常數，進而可以使莫耳粒子數 6.02×10^{23} 更趨準確。所以研究在電化科學的領域中，有其重大的意義和價值。

(五)學以致用是讀書的目的：本研究牽涉到。

1 物理方面：密度、比重、槓桿、微量天平、浮體原理、電源、電路等多方面的學識，且實際運用在體驗之中。

2 化學方面：離子說，電解電鍍、溶液濃度、法拉第常數，離子氧化數，等方面的學識，實在是一本具體而濃縮的化學課程。

基於以上說明，一位國中同學，如果能夠專心研究本實驗，對其理化上的學習，實有其深厚的價值存在。

(六)日新又新，繼續努力；我們絕不以此小小成就而自滿，必須更加努力奮鬥，更迫切需要各位老師的諄諄指導。使我們更進步、更成功。謝謝！

六、參考資料：

(一)國中化學課本第三冊第十四章。

(二)國中物理課本第一冊第二章、第三冊第七章。

(三)國中電子工課本。

(四)化學上冊潘家寅譯、東華書局 P272。

評語：學生能夠就物理與化學所得知識加以統整應用，研究設計電鍍陰極板重量變化的稱量裝置，並利用此實驗裝置，求出法拉第常數及氧化數，其構想、推理及實驗過程均甚為良好，並對於實驗教學甚有幫助。